

РОЛЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГРАНИЦ В ПРОЦЕССЕ ВТОРИЧНОЙ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Куклина А.А., Редикутьцев А.А.

Руководитель – профессор, д.т.н. Лобанов М.Л.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург
redikultsev@mail.ru

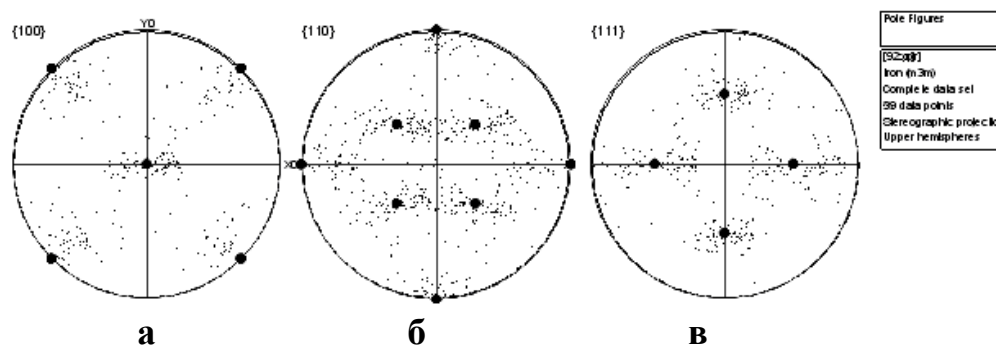
Вторичная рекристаллизация (ВР) является значимым процессом, происходящим в особых условиях при термической обработке металлов и сплавов, который может кардинально изменять их функциональные свойства. Наиболее известным является использование аномального роста зерен для формирования острой ребровой текстуры (110)[001] (текстура Госса) в однофазном сплаве $Fe-3\%Si$ (электротехническая анизотропная сталь, ЭАС), определяющей его уникальные магнитные свойства. Однако до настоящего времени общепризнанной теории ВР не существует. В настоящей работе ставилась задача исследования ВР в матрице первичной рекристаллизации (ПР) с многокомпонентной текстурой, ранее деформированных поликристаллов $Fe-3\%Si$ с исходной преимущественной ориентировкой близкой к (110)[001].

Образцы кремнистого железа толщиной 2,5 мм прокатывались без промежуточного отжига на конечную толщину 0,30 мм и подвергались рекристаллизационно-обезуглероживающему и высокотемпературному отжигам. Также с целью определения эффективной температуры ВР и исследования начальной стадии аномального роста зерен часть образцов подвергали градиентному отжигу. Выбранная для проведения исследований схема обработки технического сплава $Fe-3\%Si$ не совпадает ни с одним известным промышленным способом производства электротехнической анизотропной стали. Известно, что при такой обработке в металле будет проходить ВР с формированием сильно рассеянной текстуры.

Для исследования ориентации зерен ВР вдоль направления параллельного направлению прокатки (НП) были нарезаны образцы с шагом 15 мм. Образцы собирались в пакеты, которые исследовались с НП в сканирующем электронном микроскопе с применением метода *EBSD*. Съемка дифрагированного излучения производилась с малых равных областей, каждая из которых соответствовала единственному вторично-рекристаллизованному зерну (всего исследовано около 50 зерен). Полученные прямые полюсные фигуры накладывались друг на друга с целью получения более статистически значимого результата (рисунок 1).

Полученную текстуру можно трактовать как состоящую из двух рассеянных по всем направлениям приблизительно на 14° компонент

$\{110\}\langle 115\rangle$. Центры рассеяния данных компонент отклонены по углу α от идеальной ориентировки $(110)[001]$ также на 14° .



а – $\{100\}$; б – $\{110\}$; в – $\{111\}$; а, б, в – полюса отдельных зерен, ● – полюса идеальной ориентировки $(110)[001]$

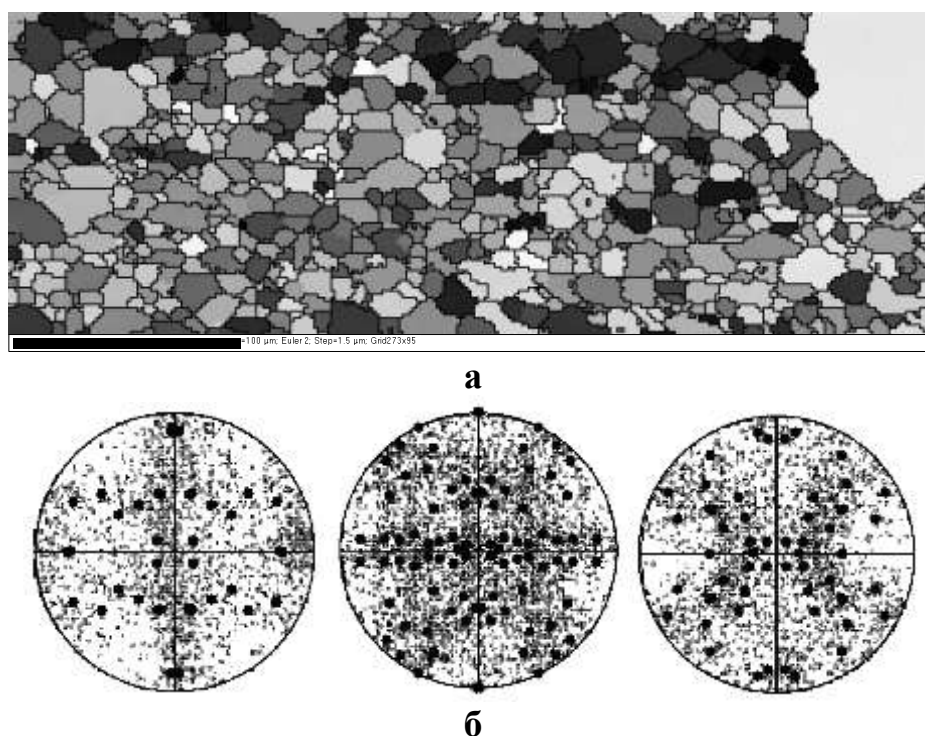
Рисунок 1 Прямые полюсные фигуры с вторично рекристаллизованных зерен технического сплава $Fe - 3 \% Si$.

Структурное состояние начала ВР, металлографически фиксировалось в образцах подвергнутых градиентному отжигу перед фронтом аномального роста зерен. Эффективная температура начала ВР оказалась равной $\sim 900^\circ\text{C}$.

Образцы с зафиксированным началом ВР были исследованы на сканирующем электронном микроскопе с применением метода *EBSD*. В ряде случаев внутри аномально растущих зерен наблюдаются мелкие кристаллиты практически сферической формы, являющиеся остатками поглощаемой матрицы. Также на достаточно гладком фронте аномально растущего зерна иногда наблюдаются не поглощенные отдельные зерна или группы кристаллитов матрицы. Эти кристаллиты имеют с аномально растущим зерном специальные границы $\Sigma 3$, либо близкие к ней $\Sigma 13$. Данный факт однозначно подтверждает наличие различной подвижности специальных границ, и косвенно указывает на роль специальных границ при ВР.

Методом *EBSD* были проведены исследования ориентировок мелких зерен, находящихся между аномально растущими кристаллитами, т.е. матрицы ВР (рисунок 2, а). Полученные прямые полюсные фигуры позволяют идентифицировать текстуру матрицы ВР как сильно рассеянную (близкую к аксиальной) ориентировку $\{100\}\langle hkl\rangle$. По данным японских специалистов в случае низкотемпературной ВР сплава $Fe-3\%Si$ ($T_{\text{НВР}} \sim 900^\circ$) среди зародышей аномального роста преобладают зерна с ориентировками близкими к $\{110\}\langle 115\rangle$ (или $(110)[001] \pm 14^\circ$), которые имеют с ближайшим окружением специальные границы типа $\Sigma 5$. Теоретические прямые полюсные фигуры строились поворотом двух ориентировок $\{110\}\langle 115\rangle$ на 37° вокруг кристаллографических осей

$\langle 001 \rangle$. Полученные идеальные полюсные фигуры накладывались на реальные полюсные фигуры матрицы ВР (рисунок 2, б). Полученный результат показывает хорошее совпадение теоретически рассчитанной текстуры (с учетом возможных рассеяний ориентировок) с реальной, и может служить косвенным доказательством доминирующей роли специальных границ $\Sigma 5$ при образовании зародышей аномального роста в процессе низкотемпературной ВР в сплаве $Fe-3\%Si$.



а – ориентационная карта по второму углу Эйлера; б – прямые полюсные фигуры (в виде полюсов отдельных зерен) изображенной на «а» области, слева на право - $\{100\}$, $\{110\}$, $\{111\}$; ● – полюса ориентировок, находящиеся в специальной ориентации $\Sigma 5$ по отношению к ориентировкам $\{110\}\langle 115 \rangle$; ВН – параллельно вертикальному направлению; ГН – параллельно горизонтальному направлению

Рисунок 2 Микроструктура и текстура области технического сплава $Fe-3\%Si$, в которой началась вторичная рекристаллизация (EBSD)